

ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ:

ПОДГОТОВКА ПЕРСОНАЛА И ПОДДЕРЖАНИЕ ЕГО КВАЛИФИКАЦИИ

№ 4 2024

ТЕМА НОМЕРА:

От микросетей
к глобальным системам

ВНИМАНИЕ! ПОДПИСКА НА 1-Е ПОЛУГОДИЕ 2025 Г.

**Журнал
«ОПЕРАТИВНОЕ
УПРАВЛЕНИЕ
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ:
ПОДГОТОВКА
ПЕРСОНАЛА
И ПОДДЕРЖАНИЕ
ЕГО КВАЛИФИКАЦИИ»**
№ 4 (109) / 2024

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия
Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС 77-24740 от 22.06.2006

Учредитель

Некоммерческое партнерство Издательский Дом «ПАНОРАМА» (107045, г. Москва, Печатников пер., д. 22, стр. 1)

Издатель

© Издательский Дом «Панорама»
127015, г. Москва, Бумажный проезд, д. 14, стр. 2, подъезд 3, а/я 27
www.panor.ru

Президент ИД «Панорама» —

Председатель Некоммерческого фонда содействия развитию национальной культуры и искусства **К. А. Москаленко**

Генеральный директор ИД «Панорама»

Г. К. Москаленко

Издательство «Промиздат»

127015, г. Москва, Бумажный проезд, д. 14, стр. 2, подъезд 3, а/я 27
Тел. 8 (495) 274-22-22 (многоканальный).
www.promizdat.com

Главный редактор

Хатер Ж. С.

E-mail: oue@panor.ru

Журнал распространяется через подписку. Оформить подписку любого месяца можно:

- На нашем сайте panor.ru;
- Через нашу редакцию по тел. 8 (495) 274-22-22 (многокан.) или по заявке в произвольной форме на адрес: podpiska@panor.ru;
- По официальному каталогу Почты России «Подписные издания» (индекс — **П7216**);
- По «Каталогу периодических изданий. Газеты и журналы» агентства «Урал-пресс» (индекс на полугодие — **18256**).

Отдел подписки:

тел./факс: 8 (495) 274-22-22 (многоканальный),
e-mail: podpiska@panor.ru

Отдел рекламы:

тел. 8 (495) 274-22-22 (многоканальный),
e-mail: reklama@panor.ru

Журнал издается под эгидой
Международной Академии технических наук
и промышленного производства

Подписано в печать 30.08.2024 г.

Отпечатано в типографии
ООО «Типография „Принт Формула“»,
117437, Москва, ул. Профсоюзная, д. 104

Установочный тираж 5000 экз.

Цена свободная

ТЕМА НОМЕРА: ОТ МИКРОСЕТЕЙ К ГЛОБАЛЬНЫМ СИСТЕМАМ

ОБОРУДОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ

Типовые каналы сигнализации. 4
Гусев С. С.

Типовые решения по сигнализации разрабатываются на основании следующих положений. Проектом предусматривается два независимых способа представления информации по технологическим сигналам: традиционный (на индивидуальных табло), с заранее заданным текстом сообщения; на мониторах, рабочей станции. Отображение поступающих на рабочую станцию технологических сигналов в системах верхнего блочного уровня ведется в составе общего протокола событий. Сигнализация подразделяется на технологическую (аварийную, предупредительную и вызывную) и сигнализацию неисправности средств (ТПТС и УКТС). Задачей технологической сигнализации является обеспечение привлечения внимания оперативного персонала с помощью светозвуковых сообщений к: заранее заданным отклонениям в технологическом процессе; срабатыванию защит; неисправности оборудования (технологического и электротехнического). Технологическая сигнализация сопровождается звуком: аварийная (сиреной); предупредительная (звонок). Звуковые сигналы аварийных защит, технологической (аварийной и предупредительной) сигнализации, а также пожарной сигнализации отличаются друг от друга по тону и громкости.

Микро- и мини-электромашин (ЭМ).

Ч. 2. Характеристики микромашин 23
Шульга Р. Н., Лабутин А. А.

Рассмотрена структура и энергообеспечение привода клеток и бактерий. Показаны их размерности в десятки нанометров, пока недостижимые в инженерной практике. Выполнен анализ развития техники микродвигателей за последние десятилетия. Показано, что основные тенденции повышения компактности и миниатюризации электромашин связаны с применением новых материалов, включая постоянные магниты, повышением числа полюсов и частоты питания.

СЕТИ И СИСТЕМЫ

Исследования по управлению частотой микросетей. 36
Дун Чэнбяо, Гунина М. Г.

Будучи новой структурой энергосистемы, микросети создают условия для диверсификации распределенных энергосистем. С быстрым развитием возобновляемых источников энергии, таких как энергия ветра, исследования в области микросетей и связанных с ними областей являются достаточно актуальными. Доля новых источников энергии со случайными колебаниями в микросетях продолжает увеличиваться, что предъявляет более высокие требования к стабильности частоты микросетей. В этой статье анализируются основные проблемы, ограничивающие в настоящее время применение автономных микросетей, а также излагаются соответствующие достижения исследований в решении проблем стабильности частоты микросетей.

Схемы подключения рабочих станций к сети СВБУ 43
Гусев С. С.

Прикладное программное обеспечение каждого элемента ПТК подсистем системы верхнего блочного уровня (серверов/рабочих станций) включает в себя рабочее программное обеспечение сервера/рабочей станции, единые для всей системы верхнего блочного уровня и соответствующую этому элементу базу данных настроечных параметров. В системе для шести подсистем системы

верхнего блочного уровня конфигуратором создается шесть баз данных настроечных параметров для рабочих станций, шесть баз данных настроечных параметров для серверов. Интерфейсное программное обеспечение размещается в 13 комплектах шлюзов, которые входят в состав смежных подсистем АСУ ТП. Для каждой из них устанавливается соответствующая база данных настроечных параметров.

ПАТЕНТЫ И ИЗОБРЕТЕНИЯ

Мониторинг электрической сети.....52

Хатсон Брэдфорд Брайан, Рут Джеффри Т., Френкель Евгений, Друзэн Уильям Р., Коун Тайлер Эдисон

Настоящее описание в общем случае относится к монитору, предназначенному для установки на опоре электропередачи, предназначенному для мониторинга одного или нескольких условий, которые могут возникать на столбе электропередачи.

Редакционный совет



Богатырев Алексей Викторович,
генеральный директор,
ООО «Теплоэнергоэксперт», г. Москва

Bogatyrev A. V.,
general director of Teploenergoexpert LLC, Moscow



Крюков Олег Викторович, д-р техн. наук, действительный член, Академия инженерных наук им. А. М. Прохорова, доцент, Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева, заместитель директора по науке, ООО «ТСН-электро», г. Нижний Новгород

Kryukov O. V., Dr. habil. of technical sciences, full member of the Academy of engineering sciences named after A. M. Prokhorov, associate professor of the Nizhny Novgorod state technical university named after R. E. Alekseev, Nizhny Novgorod



Кувалдин Александр Борисович,
д-р техн. наук, профессор, НИУ МЭИ,
г. Москва

Kuvaldin A. B.,
Dr. habil. of technical sciences, professor, NRU MPEI, Moscow



Шульга Роберт Николаевич,
канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник,
ВЭИ – филиал ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ им. акад. Е. И. Забабахина», г. Москва

Shulga R. N.,
PhD of technical sciences, senior researcher,
VEI – branch of FSUE "RFNC – VNIITF named after academician E. I. Zababakhin",
Moscow

УДК 621.311:004.052.2

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО УПРАВЛЕНИЮ ЧАСТОТОЙ МИКРОСЕТЕЙ

Дун Чэнбяо, степень магистра,

Китай, провинция Гуандун, г. Чжаоцин, район Динху

E-mail: dongbken@gmail.com,

Гунина М. Г., канд. техн. наук, доцент, заведующая кафедрой ЭМ,

Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова,

г. Бишкек, Кыргызстан

E-mail: tg_gunina@mail.ru

Будучи новой структурой энергосистемы, микросети создают условия для диверсификации распределенных энергосистем. С быстрым развитием возобновляемых источников энергии, таких как энергия ветра, исследования в области микросетей и связанных с ними областей являются достаточно актуальными. Доля новых источников энергии со случайными колебаниями в микросетях продолжает увеличиваться, что предъявляет более высокие требования к стабильности частоты микросетей. В этой статье анализируются основные проблемы, ограничивающие в настоящее время применение автономных микросетей, а также излагаются соответствующие достижения исследований в решении проблем стабильности частоты микросетей.

Ключевые слова: *энергия ветра, ветряные турбины, микросеть, регулировка частоты, синхронная генераторная установка, высокая доля ветроэнергии, регулирование частоты, распределенное управление, анализ стабильности.*

RESEARCH ON MICROGRID FREQUENCY MANAGEMENT

Dong Chengbiao, master's degree,

China, Guangdong province, Zhaoqing city, Dinghu district,

Gunina M. G., PhD of technical sciences, associate professor, head of the em department,

Kyrgyz State Technical University named after Razzakova I., Bishkek, Kyrgyzstan

Being a new structure of the energy system, microgrids create conditions for the diversification of distributed energy systems. With the rapid development of renewable energy sources such as wind energy, research in the field of micro grids and related fields is quite relevant. The share of new energy sources with random fluctuations in microgrids continues to increase, which places higher demands on the stability of the frequency of microgrids. This article analyzes the main problems currently limiting the use of autonomous microgrids, as well as outlines relevant research achievements in solving problems of frequency stability of microgrids.

Keywords: *wind energy, wind turbines, microgrid, frequency control, synchronous generator set, high proportion of wind energy, frequency control, distributed control, stability analysis.*

Решение проблемы стабильности частоты микросетей, работающих автономно с высокой долей возобновляемой энергии, управление частотой микросетей в последние годы стало одной из важных областей исследований в энергосистемах. Благодаря обширным теоретическим исследованиям и инженерным разработкам эксперты и ученые сформировали эффективные многомерные решения, такие как регулирование энергоснабжения, анализ реакции со стороны потребителя, а также координация и оптимизация на уровне системы «источник-нагрузка».

УЧАСТИЕ ЭНЕРГИИ ВЕТРА В РЕГУЛИРОВАНИИ ЧАСТОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

С ростом спроса на экологически чистую энергию, такую как энергия ветра, в энергосистеме на ветроэнергетику может быть возложено гораздо больше задач.

Для более полного использования энергии ветра, кроме функции выработки электроэнергии, необходимо использовать ее потенциал для участия в регулировании частоты сети, что сделает ветроэнергетику эффективным дополнением к традиционным ресурсам регулирования частоты сети, принесет большую пользу для повышения стабильности частоты системы и улучшения мощности потребления энергии ветра.

Ветряные турбины с регулируемой скоростью (Variable Speed Wind Turbines, VSWT) обладают характеристиками большого рабочего диапазона скоростей, регулируемой и контролируемой рабочей точки мощности. Способы участия VSWT в регулировании частоты сети делятся на две категории: управление резервным питанием [1–4, 8] и управление инерцией ротора [5–7, 9].

Управление запасом мощности, по существу, заставляет ветряную турбину работать ниже максимальной мощности. Когда необходимо участвовать в регулировании частоты сети, VSWT может непрерывно регулировать выходную мощность между оптимальной и максимальной

мощностью. Управление инерцией ротора подразумевает установку дополнительных команд мощности с частотной модуляцией на основе оптимальной команды мощности ветряной турбины. По сути, оно поддерживает частоту сети в течение короткого периода времени, поглощая или высвобождая кинетическую энергию вращения ротора, и может быстро реагировать на переходные процессы изменения частоты системы, виртуализируя характеристики инерционного отклика, аналогичные характеристикам синхронной генераторной установки.

Контроль превышения скорости, контроль шага и контроль инерции ротора имеют разные рабочие условия, и один режим работы трудно удовлетворить эксплуатационным требованиям ветряных турбин в условиях полного ветра [8–10]. Более того, существуют большие различия во влиянии различных методов на регулирование частоты системы. Неправильное применение не только нанесет вред самой ветряной турбине, но еще больше повлияет на стабильность частоты системы [11–13]. Рабочие характеристики различных режимов приведены в табл. 1.

ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА УПРАВЛЕНИЯ МИКРОСЕТЬЮ

Хотя микросети имеют более сложный состав сетевых источников и разнообразные цели управления, чем традиционные сети, большинство микросетей, работающих на автономную нагрузку, по-прежнему используют иерархическую структуру управления, аналогичную традиционным сетям [14, 15], как показано на рис. 1.

Иерархическое управление обычно разделяют на три уровня по временному масштабу воздействия: первый уровень – первичная частотная модуляция, позволяющая быстро достичь динамической устойчивости системы в пределах второго масштаба. Поскольку первичная частотная модуляция представляет собой дифференциальную настройку, для дальнейшего устранения установивше-

Регулирование частоты системы ветротурбиной

FM-режим	Применимые условия	Преимущества	Недостатки
Контроль превышения скорости	Средняя и низкая скорость ветра	Быстрый отклик, резервная частотная модуляция, устойчивая регулировка	Когда рабочая скорость высока, резервная мощность ограничена, что снижает эффективность выработки электроэнергии, а уверенность в резервной мощности низкая
Управление шагом	Главным образом высокая скорость ветра	Хорошая способность регулировки, большой диапазон регулирования, одноразовая резервная копия регулировки частоты, устойчивая регулировка	Скорость отклика механических характеристик низкая, усталостная нагрузка увеличивается, а уверенность в резервной мощности низкая
Инерционное управление	Полная скорость ветра	Быстрый отклик, обеспечивающий резервный отклик	Продолжительность короткая, а частота склонна к вторичным падениям

гося отклонения системы необходима вторичная частотная модуляция, а время ее действия составляет порядка нескольких минут. Третий уровень – это третья частотная модуляция, которая достигает

целей экономической диспетчеризации и оптимизации потока мощности в системе в более длительном временном масштабе.

Первичная частотная модуляция микросети обычно реализуется соответ-

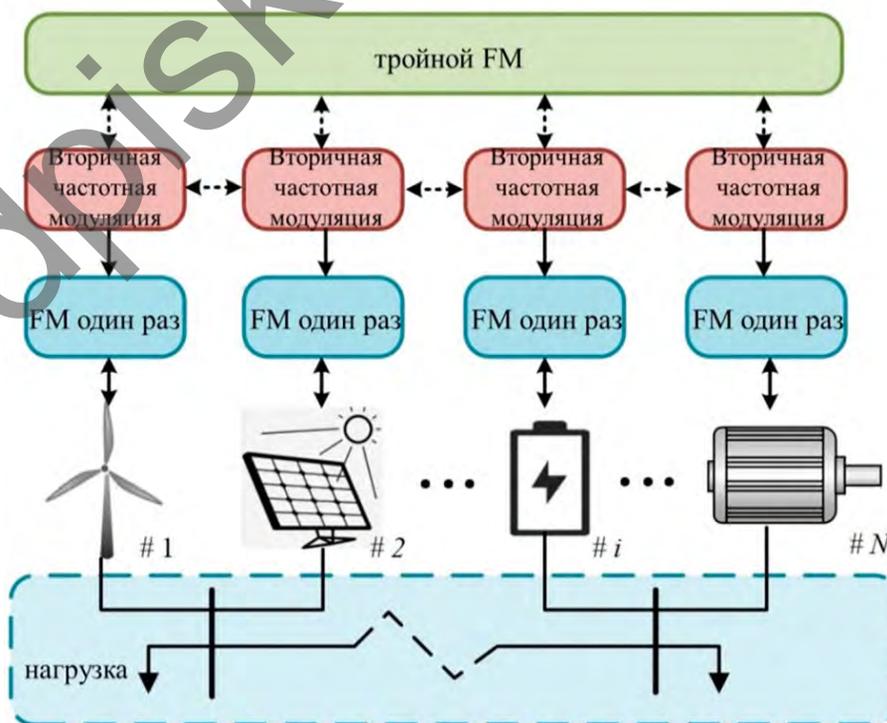


Рис. 1. Иерархическая структура управления микросетью

ствующими локальными контроллерами распределенных источников питания, а управление падением частоты [16, 17] часто используется для реализации автоматического распределения мощности нагрузки между источниками питания. Поскольку регулировка между распределенными источниками питания осуществляется независимо, такой способ управления распределенными источниками питания еще называют децентрализованным управлением. Таким образом, регулирование вторичной частоты обычно осуществляется централизованно, а система управления энергопотреблением микросети (Energy Management System, EMS) распределяет инструкции по питанию каждому распределенному источнику питания. Третичное регулирование частоты в основном направлено на решение проблемы оптимизации энергопотребления между блоками микросети, поэтому в основном используется централизованное управление.

Частотное иерархическое управление широко применяется в традиционных энергосетях, но в изолированных микросетях с более сложными формами энергетических возмущений, большими амплитудами возмущений и более низкими уровнями инерции необходимо применять более совершенное управление на основе традиционных иерархических структур управления, для удовлетворения более требовательных потребностей в регулировании частоты микросетей.

РАСПРЕДЕЛЕННОЕ СКООРДИНИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЧАСТОТОЙ МИКРОСЕТИ

Цель применения координированного управления. В традиционной электросети для каждой синхронной генераторной установки эффективно достигать регулирования первичной частоты посредством контроля спада, главным образом потому, что выходная мощность и управляемость мощности разных генераторных установок не сильно различаются, и даже син-

хронные генераторные установки всей сети могут быть эквивалентны. Одна эквивалентная машина использует возможности частотной модуляции эквивалентной машины, чтобы отразить возможности частотной модуляции всей сети. Однако выходные характеристики разных типов источников энергии в микросети сильно различаются. Например, выходная частота модуляции ветряных турбин может реагировать быстро за миллисекунды, но продолжительность составляет менее десяти секунд, в то время как выходная мощность синхронных генераторов ограничена скоростью линейного изменения. Реакция относительно медленная, но может обеспечить непрерывную и стабильную выходную мощность.

Фактически, уже проведены соответствующие исследования, которые обратили внимание на эту проблему. Они также обнаружили, что быстрая, но кратковременная регулировка выходной мощности ветряных электростанций создает «ложное процветание» в начальной стадии системных возмущений, нарушая чувствительность синхронных генераторов к отклонениям частоты в этой важной фазе. Таким образом, принятие мер, направленных только на оптимизацию характеристик регулирования мощности, динамическую настройку параметров регулирования и установку механизмов восстановления скорости только для ветрогенераторов, в определенной степени может улучшить их участие в регулировании частоты, но в более сложных и интенсивных возмущениях это часто оказывается неэффективным. Также в литературе [18] отмечено, что регулирование частоты в микросети осуществляется с использованием централизованного управления в системе управления энергетическими объектами (EMS). В EMS разработана стратегия совместного управления источниками и нагрузкой на основе интегрированного обучения. Эта стратегия направлена на быстрое и экономичное регулирование частоты путем минимизации максимального времени подъема для

всех участвующих генераторов и учета расходов на регулирование распределенных генераторов и нагрузки. Однако централизованное управление сильно зависит от связи, теряя гибкость структуры микросети, и с увеличением числа управляемых блоков объем обработки информации и сложность вычислений в системе управления энергетическими объектами (EMS) резко возрастают. Для преодоления недостатков ненаправленной оптимизации на отдельных узлах и централизованного глобального управления широко используются методы распределенного координированного управления в микросетях.

МЕТОД КООРДИНИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННОГО УРОВНЯ

Метод скоординированного управления, основанный на информационном уровне, обычно использует разреженную связь, которая не только обеспечивает гибкую структуру микросети, но также реализует скоординированное управление между различными источниками энергии.

Хотя динамические характеристики каждого источника питания в микросети различны, они имеют схожие цели управления, например, всем им необходимо максимально регулировать выходную мощность, чтобы уменьшить отклонение частоты системы. Таким образом, в существующих исследованиях широко применяется стратегия распределенного управления, основанная на алгоритме консенсуса. Установив связь между источниками питания, параметры контроллера оптимизируются в соответствии с переменными состояния каждого источника питания в реальном времени. Так реализуется скоординированное управление между источниками питания.

Координированное управление, основанное на передовых алгоритмах, таких как протоколы консенсуса, использует информацию о состоянии микросети в реальном времени и обеспечивает скоординированное управление на информационном уровне путем сравнения различий в состоянии между источниками питания и различий в состоянии между самими источниками питания и целевого планирования.



Рис. 2. Маршрут исследования распределенного скоординированного управления микросетями

МЕТОД КООРДИНИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ФИЗИЧЕСКОГО УРОВНЯ

В области исследований изолированного управления частотой микросетей также существует относительно новый тип метода скоординированного управления. Этот метод не основан на сборе большого количества переменных состояния и оптимизации сложных продвинутых алгоритмов. Вместо этого он управляет источником и глубоко анализирует динамику различных источников питания. Физические механизмы, такие как характеристики и частотные характеристики системы, путем согласования новых опорных входов или разработки новых методов управления достигают скоординированного управления на физическом уровне.

ВЫВОДЫ

Именно потому, что акцент сфокусирован на существенном факторе – динамических различиях между отдельными узлами системы, скоординированное управление на физическом уровне часто способно достигнуть эффективности в регулировании частоты, делая в этом случае меньше усилий, но достигая больших результатов. С использованием согласованности электромагнитной мощности синхронных генераторов и колебаний мощности нагрузки сигнал электромагнитной мощности добавляется к команде мощности ветряной установки во время регулировки частоты. Это позволяет полностью использовать потенциал инерционной поддержки ветряной установки, быстро уменьшая неравновесную мощность системы в начальной стадии возмущения до ответа первичного двигателя. Учитывая

воздействие быстрого регулирования выходной мощности ветряных установок на синхронные генераторы, команда по регулировке частоты ветрогенераторов подается в автоматическое регулировочное устройство, ускоряя тем самым скорость ответа синхронного генератора на неравновесную мощность. Разложение частотного сигнала на высокочастотные и низкочастотные компоненты в частотной области, чтобы соответствовать быстрым и медленным характеристикам регулирования выходной мощности ветрогенератора и синхронного генератора. Следует отметить, что профессор Seung-II Moon и его докторант Yun-Su Kim из Университета Сеула в инновационной работе [19] предложили метод управления частотой в высокоэнергетической изолированной микросети с высокой долей новых источников энергии. В этой системе накопители энергии отвечают за поддержание стандартной частоты системы, полностью избегая влияния малой инерционности механических характеристик дизель-генераторных установок на частоту. При этом дизель-генераторные установки отвечают только за поддержание состояния заряда (State of Charge, SOC) энергосистемы в определенных пределах. Этот инновационный подход действительно открывает новые горизонты, и эффект в регулировании частоты также весьма значительный. Отсюда видно, что на основе глубокого анализа физических механизмов значительных колебаний частоты в изолированных микросетях, эффективная разработка согласованных методов управления становится ключевым, и именно это является источником идей в данной работе.

Библиографический список

1. **Рамтаран Г.** Поддержка частоты от ветряных турбин асинхронного генератора с двойным питанием / Г. Рамтаран, Дж.Б. Эканаяке, Н. Дженкинс // IET Renewable Power Generation. London. – 2007. – N 1 (1). – P. 3–9.
2. **Тенинге А.** Вклад в управление частотой с помощью инерционного накопителя энергии ветряных турбин / А. Тенинге, С. Джеку, Д. Рой // IET Renewable Power Generation. London. – 2009. – N 3 (3). – P. 358–370.

3. Частотное управление ветряными генераторами с двойным питанием и координацией превышения скорости и шага / Чжан Чжаосуй, Сунь Юаньчжан, Ли Гоцзе [и др.] // Electric Power Automation Equipment. – Beijing, 2011. – N 35 (17). – P. 20–25.
4. Исследование ветряных турбин с регулируемой скоростью, обеспечивающих резерв мощности частотной модуляции / Сюэ Инчэн, Тай Нэнлин, Сун Кай. [и др.] // Electric Power Automation Equipment. – Oxford, 2010. – N 30 (8). – P. 75–80.
5. **Сюэ Ю.** Обзор вклада в управление частотой с помощью ветряной турбины с регулируемой скоростью / Сюэ Ю., Тай Н. // Renewable Energy. – 2011. – N 36 (6). – P. 1671–1677.
6. **Лалор Г.** Управление частотой и технологией ветряных турбин / Г. Лалор, А. Муллейн, М. О'Мэлли // Transactions on Power Systems. – New York, 2005. – N 20 (4). – P. 1905–1913.
7. **Раун Б.Г.** Методика управления для смягчения воздействия ветряных турбин на энергосистему / Б.Г. Раун, П.В. Лен, М. Маджоре // Transactions on Power Systems. – New York, 2007. – N 22(2). – P. 431–438.
8. **Зертек А.** Новая стратегия участия ветряных турбин с регулируемой скоростью в управлении первичной частотой / А. Зертек, Г. Вербик, М. Пантос // Transactions on Power Systems. – New York, 2012. – N 3 (4). – P. 791–799.
9. **Чанг-Чиен Л.** Улучшение управления частотной характеристикой с помощью DFIG в энергосистемах, проникающих в сильные ветры / Чанг-Чиен Л., Линь В., Инь Ю. // Transactions on Power Systems. – New York, 2011. – N 26 (2). – P. 710–718.
10. **Ма Х.Т.** Работа над регулированием частоты с помощью ветряных электростанций: комбинированные подходы к управлению / Х.Т. Ма, Б.Х. Чоудхури // IET Renewable Power Generation. – London, 2010. – N 4 (4). – P. 308–316.
11. Регулирование частоты в автономных энергосистемах с высоким проникновением энергии ветра / И.Д. Маргарис, С.А. Палатанасиу, Н.Д. Хацитаргириу [и др.] // Transactions on Power Systems. – New York, 2012. – N 3 (2). – P. 189–190.
12. **Цао Цзюнь.** Стратегия управления частотой ветряных турбин с переменной скоростью, постоянной частотой и двойным питанием / Цао Цзюнь, Ван Хунфу, Цю Цзяцзюй // Electric Power Automation Equipment. – Beijing, 2009. – N 33 (13). – P. 78–82.
13. Управление виртуальной инерцией с переменным параметром на основе эффективного накопления энергии ветряных турбин с двойным питанием / Тянь Сишоу, Ван Вэйшэн, Чи Юннин [и др.] // Electric Power Automation Equipment. – Beijing, 2015. – N 39 (5). – P. 20–26.
14. Иерархическое распределенное регулирование частоты и управление оптимизацией мощности изолированной автономной микросети / Юй Госин, Хоу Жуй, Ван Жэньсяо [и др.] // Electric Power Automation Equipment. – Beijing, 2020. – N 44 (7). – P. 53–66.
15. Исследование по управлению системами распределенной генерации электроэнергии для микросетей / А.М. Бузид, Дж.М. Герреро, А. Черити [и др.] // Renewable & sustainable energy reviews. – Оксфорд, 2015. – N 44. – P. 751–766.
16. Поддержка напряжения обеспечивается многофункциональным инвертором с контролем падения напряжения / Х.К. Васкес, Р.А. Мастромауро, Х.М. Герреро [и др.] // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – New York, 2009. – N 56 (11). – P. 4510–4519.
17. **Коэльо Э.** Стабильность слабого сигнала для параллельно подключенных инверторов в автономных системах питания переменного тока / Э. Коэльо, П.К. Кортисо, П. Гарсия // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – New York, 2002. – N 38 (2). – P. 533–542.
18. Координированное управление частотой островной микросети на основе заряда источника на основе интегрированного обучения / Ван Дэчжи, Чжан Сяошун, Лю Цяньцзинь [и др.] // Автоматизация энергосистем. – 2018. – № 42 (10). – С. 46–52.
19. **Ким Ю.** Стратегия управления частотой и напряжением автономных микросетей с высоким уровнем проникновения систем прерывистой возобновляемой генерации / Ю. Ким, Э. Ким, С. Мун // Transactions on Industrial Electronics. – New York, 2016. – N 31 (1). – P. 718–728.

**Для оформления подписки через редакцию пришлите заявку
в произвольной форме по адресу электронной почты podpiska@panor.ru
или позвоните по тел. 8 (495) 274-22-22 (многоканальный).**

УДК 519.714.2

СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ РАБОЧИХ СТАНЦИЙ К СЕТИ СВБУ

Гусев С. С., инженер-энергетик

E-mail: gs-serg@mail.ru,

ПАО «Ростелеком», соискатель, г. Москва

Прикладное программное обеспечение каждого элемента ПТК подсистем системы верхнего блочного уровня (серверов/рабочих станций) включает в себя рабочее программное обеспечение сервера/рабочей станции, единые для всей системы верхнего блочного уровня, и соответствующую этому элементу базу данных настроечных параметров. В системе для шести подсистем системы верхнего блочного уровня конфигуратор создается шесть баз данных настроечных параметров для рабочих станций, шесть баз данных настроечных параметров для серверов. Интерфейсное программное обеспечение размещается в 13 комплектах шлюзов, которые входят в состав смежных подсистем АСУ ТП. Для каждой из них устанавливается соответствующая база данных настроечных параметров.

Ключевые слова: система верхнего блочного уровня, программное обеспечение, серверы, рабочие станции, базы данных.

DIAGRAMS FOR CONNECTING WORKSTATIONS TO THE CBU NETWORK

Gusev S.S., power engineer, PJSC "Rostelecom", applicant, Moscow

The application software of each element of the PTK subsystems of the upper block level system (servers/workstations) includes the working software of the server/workstation, which are uniform for the entire upper block level system, and the database of configuration parameters corresponding to this element. In the system, for six subsystems of the upper block level system, the configurator creates six databases of configuration parameters for workstations, six databases of configuration parameters for servers. The interface software is located in 13 sets of gateways, which are part of the adjacent subsystems of the automated control system. A corresponding database of configuration parameters is installed for each of them.

Keywords: the upper block-level system, software, servers, workstations, databases.

СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ РАБОЧИХ СТАНЦИЙ К СЕТИ СВБУ

Рабочие станции подключаются к сети СВБУ через настенные распределительные коробки, устанавливаемые в помещениях, где располагаются данные рабочие станции [1].

Объединение рабочих станций, принадлежащих одному домену сети СВБУ в кластеры, осуществляется посредством встроенных в рабочие станции концентраторы [2].

Концентратор рабочей станции может находиться в трех состояниях:

- подключенным к основному сетевому порту;
- подключенным к резервному порту;
- в отключенном состоянии.

Эти состояния обеспечиваются путем соответствующей перекоммутации сетевых входов блока процессора рабочей станции.

На рис. 1–4 приведены схемы подключения одной, двух, трех и четырех рабочих станций соответственно к сети СВБУ.

Подключение рабочих станций к распределительным коробкам и объединение рабочих станций между собой осуществляется претерминированных оптоволоконных шнуров типа Breakout [3].

СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ШЛЮЗОВ К СЕТИ СВБУ

Шлюзы со смежными системами АСУ ТП подключаются к сети СВБУ через настенные распределительные коробки, через выносные концентраторы сети, через концентраторы рабочих станций.

На рис. 5 представлены схемы подключения шлюзов через настенные распределительные коробки. К одной распределительной коробке могут подключаться шлюзы, принадлежащие как одному, так и разным доменам сети.

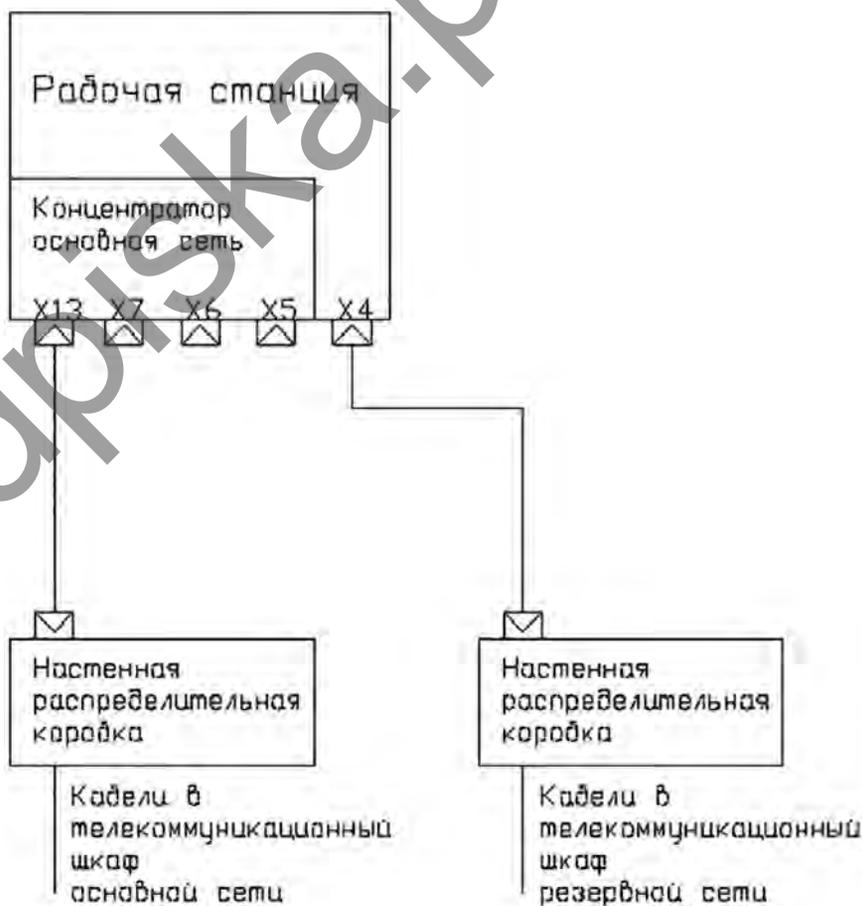


Рис. 1. Схема подсоединения рабочей станции к сети СВБУ



Рис. 2. Схема подключения двух рабочих станций к сети СВБУ

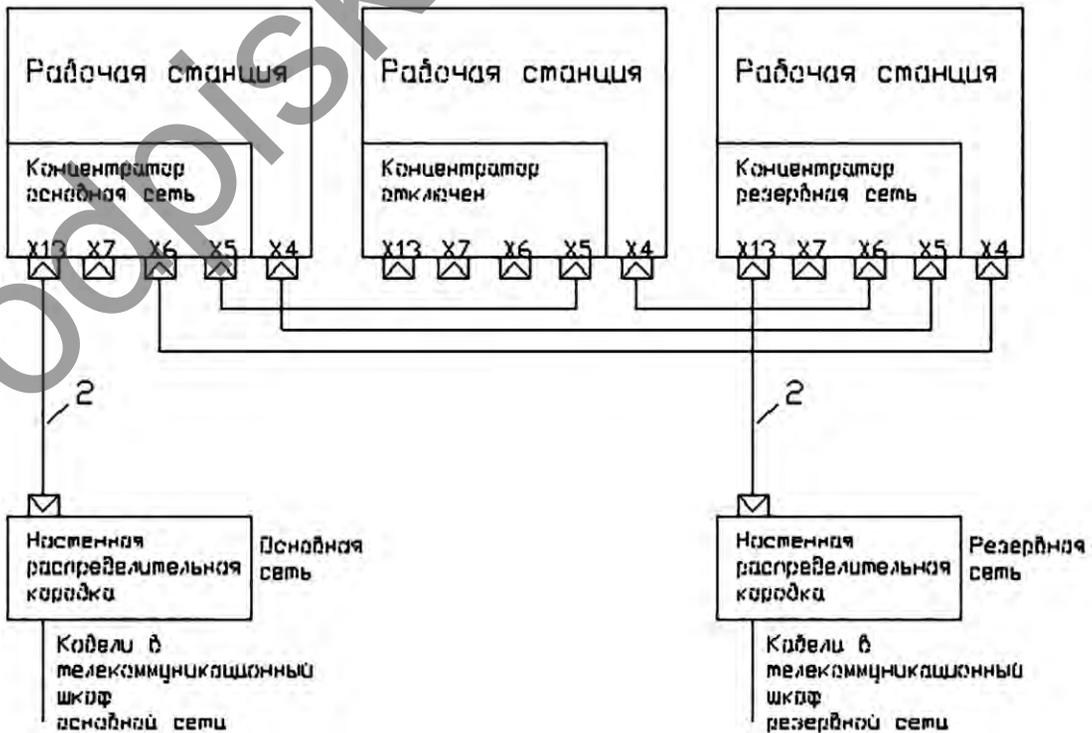


Рис. 3. Схема подключения трех рабочих станций к сети СВБУ



Рис. 4. Схема подсоединения четырех рабочих станций к сети СВБУ

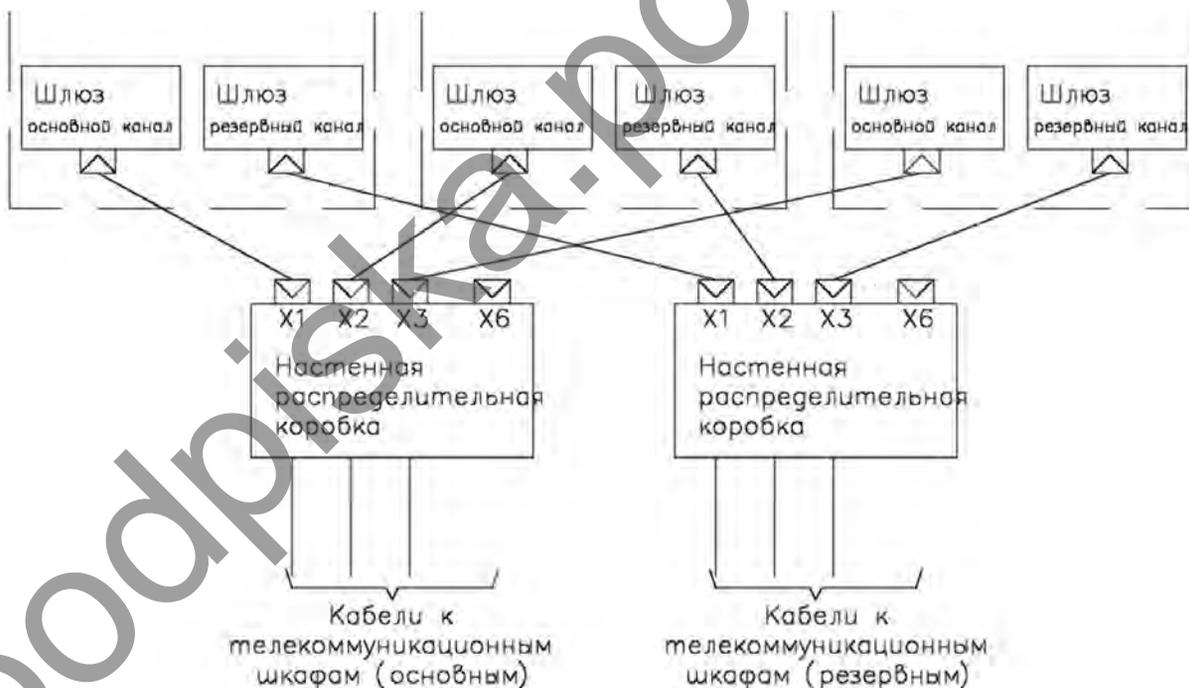


Рис. 5. Схема подключения шлюзов через настенные распределительные коробки

ПРИНЦИПЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ СВБУ

Исходя из принципа недопущения отказа по общей причине, при организации каналов связи между абонентами СВБУ основное внимание уделяется топологическому разнесению элементов основной и резервных сетей. Так активное оборудо-

вание основной и резервной сети (концентраторы и коммутаторы) размещается в разнесенных между собой соответствующих рабочих станциях и телекоммуникационных шкафах. Пассивное оборудование основной и резервной сети (сварные и кроссовые соединения, кабели) также размещаются в соответствующих разне-

сенных раздаточных и соединительных коробках, кабельных коробах, тоннелях и т. д.

ТИПОВЫЕ КАНАЛЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Виды типовых каналов

Типовые каналы, реализуемые в СВБУ, представляют собой перечни элементов оборудования и линий оптоволоконной связи, через которые происходит передача информации [4].

Каналы подразделяются по функциям – на информационные и управляющие каналы.

По статусу каналы делятся на основные и резервные.

По используемому оборудованию каналы делятся на типы:

- Тип 1 – каналы, проходящие внутри доменов СВБУ.
- Тип 2а – каналы, проходящие от ПТК одного домена, не являющимся доменом общешлюзной сети, на рабочие станции общешлюзного уровня.
- Тип 2б – каналы, проходящие от ПТК одного домена, не являющимся доменом общешлюзной сети, на серверы другого домена и далее на рабочие станции общешлюзного уровня.
- Тип 3 – каналы, связывающие ПТК одного домена с серверами и рабочими станциями другого домена.

Каналы контроля (информационные каналы, каналы передачи сигналов контроля) начинаются от шлюзов, проходят через серверы, где происходит обработка и архивация данных контроля, и завершаются на рабочих станциях.

Каналы управления (управляющие каналы, каналы передачи сигналов дистанционного управления) начинаются на рабочих станциях, проходят через серверы и завершаются в шлюзах [5].

Каналы выполнения информационных функций совпадают по пути прохождения сигналов с каналами контроля.

Каналы выполнения функций управления включают каналы контроля и управ-

ления. Конечными элементами каждого не резервированного канала являются один шлюз и одна рабочая станция.

Техническая структура каналов и их взаимодействия дана на рис. 6, где обозначено:

- GRp – шлюз с подсистемой 1 основной
- GRs – шлюз с подсистемой 1 резервный
- HR1p – концентратор сети подсистемы R основной
- HR1s – концентратор сети подсистемы R резервный
- HR2p – концентратор сети подсистемы R основной
- HR2s – концентратор сети подсистемы R резервный
- SWRp – коммутатор сети подсистемы R основной
- SWRs – коммутатор сети подсистемы R резервный
- WSR1 – рабочая станция подсистемы R
- WSR2 – рабочая станция подсистемы R
- SRp – сервер подсистемы R основной
- SRs – сервер подсистемы R резервный
- WSC1 – рабочая станция общешлюзного уровня
- WSC2 – рабочая станция общешлюзного уровня
- SWCp – коммутатор общешлюзной основной
- SWCs – коммутатор общешлюзной резервный
- SC – сервер общешлюзной вспомогательный
- HCp – концентратор общешлюзной основной
- HCs – концентратор общешлюзной резервный
- GTp – шлюз с подсистемой 2 основной
- GTs – шлюз с подсистемой 2 резервный
- HT1p – концентратор сети подсистемы T основной
- HT1s – концентратор сети подсистемы T резервный
- HT2p – концентратор сети подсистемы T основной
- HT2s – концентратор сети подсистемы T резервный
- SWTp – коммутатор сети подсистемы T основной

- SWTs – коммутатор сети подсистемы T резервный
- WST1 – рабочая станция подсистемы T
- WST2 – рабочая станция подсистемы T
- STp – сервер подсистемы T основной
- STs – сервер подсистемы T резервный.

Поскольку смежные элементы оборудования на рис. 6 связаны не более чем одной линией оптоволоконной связи, описание каналов сводится к перечислению оборудования, через который проходит канал [6].

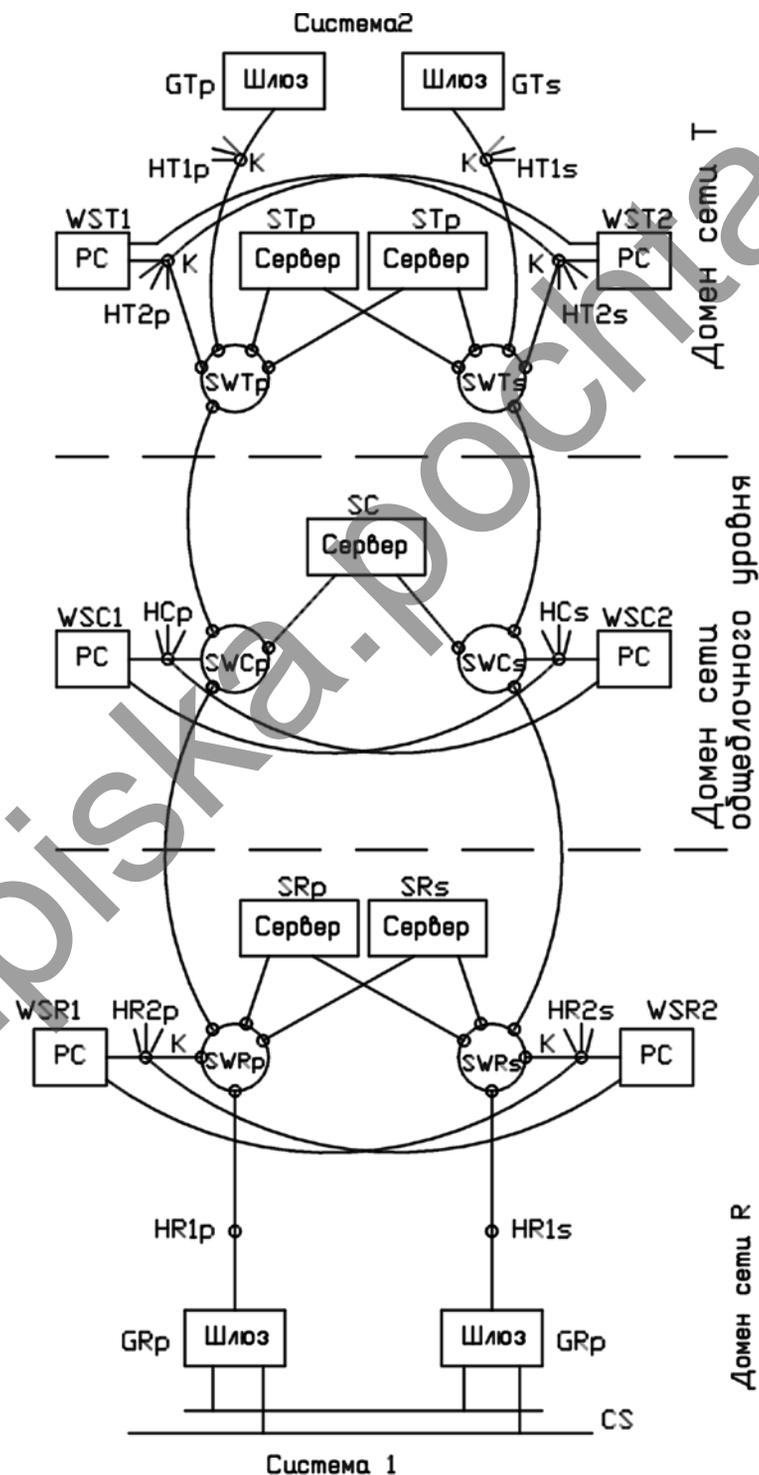


Рис. 6. Функциональная схема связи типовых каналов

В частности, основной канал контроля типа 1 для PC WSR1 проходит последовательно через шлюз GRp, концентратор HR1p, коммутатор SWRp, входит в сервер SRp и выходит на PC WSR1 через коммутатор SWRp и концентратор HR2p. Описанный выше канал контроля записывается в виде формулы следующего вида:

$$GRp \rightarrow HR1p \rightarrow SWRp \rightarrow SRp \rightarrow SWRp \rightarrow HR2p \rightarrow WSR1.$$

Аналогично выглядит формула для основного канала управления:

$$GRp \leftarrow HR1p \leftarrow SWRp \leftarrow SRp \leftarrow SWRp \leftarrow HR2p \leftarrow WSR1.$$

В случае, если каналы контроля и управления совпадают по структуре, приводится единая формула для канала контроля/управления:

$$GRp \leftrightarrow HR1p \leftrightarrow SWRp \leftrightarrow SRp \leftrightarrow SWRp \leftrightarrow HR2p \leftrightarrow WSR1.$$

Основной канал контроля типа 2 для рабочей станции WSR1 проходит последовательно через шлюз GRp, концентратор HR1p, коммутатор SWRp, входит в сервер SRp и выходит на рабочую станцию WSC1 через коммутаторы SWRp, SWCp и концентратор HCp.

Данный канал записывается в виде формулы:

$$GRp \rightarrow HR1p \rightarrow SWRp \rightarrow SRp \rightarrow SWRp \rightarrow SWCp \rightarrow HCp \rightarrow WSC1.$$

Основной канал контроля типа 3 для рабочей станции WSR1 проходит последовательно через шлюз GTp, концентратор HT1p, коммутаторы SWTp, SWCp, SWRp, входит в сервер SRp и выходит на рабочую станцию через коммутатор и концентратор SWRp, HR2p.

Данный канал записывается в виде:

$$GTp \rightarrow HT1p \rightarrow SWTp \rightarrow SWCp \rightarrow SWRp \rightarrow SRp \rightarrow SWRp \rightarrow HR2p \rightarrow WSR1.$$

НАДЕЖНОСТЬ ТИПОВЫХ КАНАЛОВ СВБУ

Содержание понятий отказов каналов.

Под отказом канала типа 1, 2а, 2б и 3 понимается событие, приводящее к потере способности технических средств канала передавать информацию от источника к получателю (в границах СВБУ), ее обрабатывать и архивировать, а также отображать эту информацию на рабочей станции (в канале осуществляется передача информации от одного шлюза к одной рабочей станции) [7].

Данные о надежной структуре каналов задаются в виде деревьев отказов. Для каналов рассчитывались значения следующих показателей надежности (безотказности).

Первый показатель характеризует среднюю продолжительность работы канала между отказами. Второй показатель характеризует ненадежность формирования реакции канала на требование, обусловленное некоторым событием (срабатывание защиты, необходимость дистанционного управления и т. п.). Третий показатель характеризует вероятность безотказной непрерывной работы в течение заданного интервала времени (года работы).

Результаты расчетов надежности каналов приведены в табл. 1.

Упрощенное функционирование типовой подсистемы содержит следующие состояния:

- прием сервером «новых» данных;
- обработка данных Сервером;
- передача данных из Сервера в PC и Архив;
- обработка данных в PC.

Показатель надежности	Обозначение
Средняя наработка на отказ канала, ч	T_{CP}
Коэффициент неготовности канала	$K_{НГ}$
Вероятность безотказной работы канала на интервале времени (0...8600 ч)	$P(8600)$

Таблица 1

Временные характеристики прохождения информации от Шлюза через Сервер в Рабочую станцию в типовой подсистеме СВБУ

Объект оценки	Показатель		
	T_{CP} , ч	$K_{нг}$	P (8600)
1. Канал типа 1	50, 10 5	0,020 10 –5	0,9982
2. Канал типа 2а	29, 10 5	0,034 10 –5	0,9971
3. Канал типа 2б	18, 10 5	0,055 10 –5	0,9953
4. Канал типа 3	23, 10 5	0,043 10 –5	0,9962

Таблица 2

	Задержка сигнала контроля	Задержка сигнала управления
Среднее значение, с	1,41	0,7
Максимальное значение, с	2,41	1,1

В табл. 2 приведены экспериментальные данные для тестового информационного потока, соответствующего изменению 600 аналоговых и 60 дискретных сигналов в секунду.

ТИПОВЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ИНФОРМАЦИОННОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ. СОСТАВ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Информационное обеспечение СВБУ (ИО) включает в свой состав следующие основные компоненты, предназначенные для реализации функций и задач СВБУ и АСУ ТП в целом.

Первая компонента представляет собой распределенный архив, где содержатся значения параметров состояния ТОО и АСУ ТП. Архив обеспечивает также необходимый сервис для просмотра данных, создания отчетов, анализа информации [8].

Вторая компонента представляет собой распределенную базу данных документов (БДД), предназначенную для решения совокупности задач СВБУ, связанных с предоставлением персоналу АЭС текстово-графической, заранее подготовленной информации. БДД подразделяется на

внутримашинную и внешнюю части по способу реализации [9].

Третью компоненту ИО СВБУ составляет единый банк данных элементов ППО (БДПО), включающий в себя:

- РПО серверов;
- РПО РС;
- РПО шлюзов;
- РБД для всех РС, серверов и шлюзов СВБУ.

Первые две компоненты (Архив, БДД) ориентированы на использование оперативным персоналом АЭС и АСУ ТП. БДПО используются в процессе пуска-наладки и нормального функционирования СВБУ.

ПРИНЦИП ОРГАНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СВБУ

Каждая из компонент ИО имеет свои принципы организации информации.

Принципы организации Архива состоят в следующем.

Во-первых, Архив организован таким образом, чтобы вся поступающая в СВБУ информация хранилась в двух совершенно идентичных экземплярах на основных и резервных серверах [10].

Во-вторых, в силу большого объема сигналов, Архив строится как распреде-

ленный для того, чтобы обработка информации производилась асинхронно на разных элементах ПТК.

С учетом перечисленных принципов, Архив разбит на следующие дублированные компоненты:

- Оперативный Архив ИУРО, где хранится информация о системах реакторного отделения за двое суток.
- Оперативный Архив ИУТО, где хранится информация по турбинному отделению за двое суток.
- Оперативный Архив ИУН, где хранится информация о системах, обслуживаемых с неоперативного контура управления за двое суток.
- Оперативный Архив АТПС, где хранится информация о состоянии АСУ ТП за двое суток.
- Долговременный Архив, где содержится сумма архивов за один год.

Основные и резервирующие серверы подсистем ИУРО, ИУТО, ИУН, АТПС производят сбор информации в архивы независимо друг от друга и в любой момент времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из принципа недопущения отказа по общей причине, при организации каналов связи между абонентами СВБУ основное внимание уделяется топологи-

ческому разнесению элементов основной и резервных сетей. Так активное оборудование основной и резервной сети (концентраторы и коммутаторы) размещается в разнесенных между собой соответствующих рабочих станциях и телекоммуникационных шкафах. Пассивное оборудование основной и резервной сети (сварные и кроссовые соединения, кабели) также размещаются в соответствующих разнесенных раздаточных и соединительных коробках, кабельных коробах, тоннелях и т. д.

Каналы контроля (информационные каналы, каналы передачи сигналов контроля) начинаются от шлюзов, проходят через серверы, где происходит обработка и архивация данных контроля, и завершаются на рабочих станциях.

Каналы управления (управляющие каналы, каналы передачи сигналов дистанционного управления) начинаются на рабочих станциях, проходят через серверы и завершаются в шлюзах.

Каналы выполнения информационных функций совпадают по пути прохождения сигналов с каналами контроля.

Каналы выполнения функций управления включают каналы контроля и управления. Конечными элементами каждого нерезервированного канала являются один шлюз и одна рабочая станция.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Акоста В., Кован К., Грэм Б.** Основы современной физики. – М.: Просвещение, 1981. – 495 с.
2. **Гусев С.С.** Построение модифицированного алгоритма идентификации динамического объекта управления по экспериментальным данным ядерной энергетической установки // Управление большими системами. – 2014. – № 47. – С. 167–186.
3. **Лысков Б.В., Прозоров В.К.** Термометрия и расходомерия ядерных реакторов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 120 с.
4. **Фразнфельдер Г., Хенли Э.** Субатомная физика. – М.: Мир, 1979. – 735 с.
5. Техническое задание на опытно-конструкторскую работу. Сборка тепловыделяющая БН-800 с таблеточным МОКС-топливом // ОАО «ОКБМ им. Африкантова».
6. Техническое задание на опытно-конструкторскую работу. Сборка тепловыделяющая БН-800 с виброуплотненным МОКС-топливом // ОАО «ОКБМ им. Африкантова».
7. **Рогозкин Б.Д.** и др. Послеректорные исследования монокридного и оксидного плутониевого топлива с инертной матрицей выгоранием ~ 19% ТЯЖ. АТ. В БОР-60 // Атомная энергия. – 2010. – Т. 109. – № 6.
8. **Рогозкин Б.Д.** и др. Термохимическая стабильность, радиационные испытания, изготовление и регенерация монокридного топлива // Атомная энергия. – 2003. – Т. 95. – № 6. – С. 428–438.
9. **Гусев С.С.** Типовые решения по каналам дистанционного управления // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2024. – № 4. – С. 13–25.
10. **Гусев С.С.** Типовые решения по подключению аналоговых сигналов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2024. – № 5. – С. 26–45.